

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕССОВКИ ПОЛОЙ ЗАГОТОВКИ В КОНТЕЙНЕРЕ

SIMULATION OF THE HOLLOW INGOT UPSETTING IN THE PRESS CONTAINER

Д.Н. Бабайлова, Н.А. Бабайлов

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»
г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
n.a.babailov@ustu.ru

Abstract

The mathematical model of the hollow ingot upsetting was developed by means of Kolmogorov's variational method. The different coordinat functions were investigated in the article.

Течение металла в различных процессах обработки металлов давлением может быть описано вариационным методом, предложенным на кафедре обработки металлов давлением УПИ имени С.М.Кирова (ныне УрФУ) И.Я.Тарновским и разработанным Колмогоровым В.Л. [1].

В научно-исследовательской работе рассмотрен подбор координатных «подходящих»

функций, при построении минимизирующей последовательности с использованием метода Ритца [2] и представленных в математической модели распрессовки полой концентрической заготовки в контейнере прессы [3].

Расчетная схема процесса приведена на рис.1.

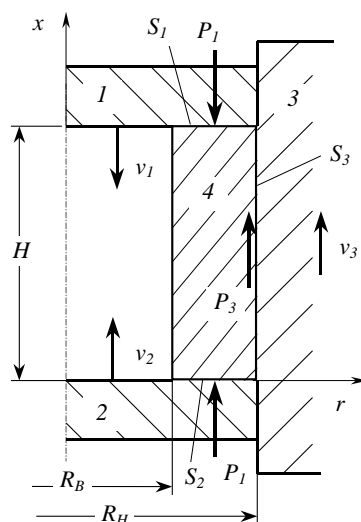


Рис.1. Расчетная схема процесса:

1 – верхний боек; 2 – нижний боек; 3 – контейнер; 4 – заготовка

Деформации подвергается полая заготовка с размерами: наружный диаметр $D_H = 2R_H$; внутренний диаметр $R_B = 2R_B$ и высота H .

Верхний боек перемещается со скоростью v_1 , а нижний – v_2 . Контейнер прессы имеет возможность перемещения в вертикальном направлении со скоростью v_3 .

Основные допущения, принятые при построении модели: задача осесимметричная,

деформация изотермическая; материал изотропный, несжимаемый, идеально пластичный; заготовка концентрическая (т.е. разнотолщинности стенки полой заготовки нет); используется закон трения

Прандтля-Зибеля: $\tau^* = \psi \tau_S$.

Вариационное уравнение для рассматриваемой задачи согласно принципа минимума полной мощности имеет следующий вид [1]:

$$\delta \left\{ \int_V \left[\int_0^{H'} T(H) d(H) \right] dV - \int_{S_f} f_i^* v_i' dS + \int_{S_s} \tau^* v_s' dS \right\} = 0, \quad (1)$$

где S_S – контактные поверхности с жестким инструментом (поверхности скольжения); S_f – поверхность, свободная от воздействия инструмента (на $S_f - f_i^* = 0$).

Вариационное соотношение (1) имеет место на кинематически возможном поле скоростей и обладает минимумом на действительном поле скоростей. Принято, что $v_\phi = 0$, а скорость в вертикальном направлении изменяются по закону (с учетом неоднородных граничных условий):

$$v_x = -v_1 \frac{x}{H} + v_2 \left(1 - \frac{x}{H} \right) + f(x, r, a_i), \quad (2)$$

В работе рассмотрены некоторые варианты координатных «подходящих» функций $f(x, r, a_i)$ для описания процесса распрессовки полой заготовки в контейнере пресса. При выборе вида координатной функции v_x удовлетворены следующие граничные условия: при $x = H - v_x|_{x=H} = -v_1$; при $x = 0 - v_x|_{x=0} = v_2$. В выражении (2) a_i – варьируемые параметры, имеющие размерность скорости.

В математической модели процесса распрессовки были введены следующие безразмерные параметры: $\bar{h} = H/R_H$ – относительная высота заготовки;

$k = R_B/R_H$ – параметр сечения полой заготовки; $\rho = r/R_H$ – относительный текущий радиус; $z = x/H$ – относительная текущая продольная координата; $\bar{v}_2 = v_2/v_1$ – относительная скорость движения нижнего бойка; $\bar{v}_3 = v_3/v_1$ – относительная скорость движения контейнера; $\bar{a}_i = a_i/v_1$ – относительные варьируемые параметры.

В работе рассмотрены координатные функции $\bar{v}_x = v_x/v_1$ следующего вида:

$$\bar{v}_x = -z + \bar{v}_2(1-z) + \sum_{i=1}^n \bar{a}_i \sin(i\pi z) p^m. \quad (3)$$

Рассмотрено четыре функции, описывающие поле скоростей:

$$\bar{v}_x = -z + \bar{v}_2(1-z), \quad (3')$$

$$\text{при } m = 0 - \bar{v}_x = -z + \bar{v}_2(1-z) + \sum_{i=1}^n \bar{a}_i \sin(i\pi z), \quad (3'')$$

$$\text{при } m = 1 - \bar{v}_x = -z + \bar{v}_2(1-z) + \sum_{i=1}^n \bar{a}_i \sin(i\pi z) p, \quad (3''')$$

$$\text{при } m = 2 - \bar{v}_x = -z + \bar{v}_2(1-z) + \sum_{i=1}^n \bar{a}_i \sin(i\pi z) p^2, \quad (3''')$$

где $B_1 = \sum_{i=1}^5 i \bar{a}_i \cos(i\pi z)$ – ряд, который при решении задачи выбран с числом членов, равным

$$n = 5.$$

Далее из условия несжимаемости определена относительная скорость в радиальном направлении $\bar{v}_r = v_r / v_1$:

$$\bar{v}_r = \frac{1}{2\bar{h}} (1 + \bar{v}_2) \left(\rho - \frac{1}{\rho} \right), \quad (4')$$

$$\bar{v}_r = \frac{1}{2\bar{h}} (1 + \bar{v}_2) \left(\rho - \frac{1}{\rho} \right) + \frac{\pi}{2\bar{h}} \left(\frac{1}{\rho} - \rho \right) B_1, \quad (4'')$$

$$\bar{v}_r = \frac{1}{2\bar{h}} (1 + \bar{v}_2) \left(\rho - \frac{1}{\rho} \right) + \frac{\pi}{3\bar{h}} \left(\frac{1}{\rho} - \rho^2 \right) B_1, \quad (4''')$$

$$\bar{v}_r = \frac{1}{2\bar{h}} (1 + \bar{v}_2) \left(\rho - \frac{1}{\rho} \right) + \frac{\pi}{4\bar{h}} \left(\frac{1}{\rho} - \rho^3 \right) B_1, \quad (4''')$$

Для определения варьируемых параметров построены составляющие выражения (1). Полная мощность для представленной постановки задачи включает в себя:

• *мощность деформации* в объеме заготовки из идеально пластичного материала ($T = \tau_S$) –

$$\begin{aligned} N_{BH} &= \int_V \tau_S H dV = 2\pi \int_{R_B(x)}^{R_H} \int_0^H \tau_S H r dr dx = \\ &= 2\pi \tau_S v_1 R_H^2 H \int_{k(z)}^1 \int_0^1 \bar{H} \rho d\rho dz, \end{aligned} \quad (5)$$

где $R_B(x)$ или $k(z)$ – профиль внутренней поверхности заготовки в абсолютных и относительных параметрах; \bar{H} – интенсивность скоростей деформации сдвига;

• *мощность сил трения* состоит из трех составляющих, т.к. имеют место три поверхности контакта –

$$\begin{aligned} N_{TP} &= \int_{S_S} \tau^* v_S dS = \int_0^{2\pi R_H} \int_{R_B} \psi_1 \tau_S v_S|_{S_1} r d\varphi dr + \\ &+ \int_0^{2\pi R_H} \int_{R_B} \psi_2 \tau_S v_S|_{S_2} r d\varphi dr + \int_0^{2\pi H} \int_0^R \psi_3 \tau_S v_S|_{S_3} R_H d\varphi dx, \end{aligned} \quad (6)$$

где ψ_j – показатели трения на соответствующих контактных поверхностях заготовки и инструмента; τ_S – сопротивление деформации сдвига; $v_S|_{S_i}$ – скорости

скольжения металла заготовки относительно жесткого инструмента.

Скорости скольжения металла заготовки относительно инструмента $\bar{v}_S = v_S / v_1$:

• на поверхности контакта заготовки с верхним бойком S_1 –

$$\bar{v}_S|_{S_1} = \bar{v}_r|_{z=1}; \quad (7)$$

- на поверхности контакта заготовки с нижним бойком S_2 –

$$\bar{v}_S|_{S_1} = \bar{v}_r|_{z=0}; \quad (8)$$

- на поверхности контакта заготовки и контейнера прессы S_3 –

$$\bar{v}_S|_{S_3} = \bar{v}_x|_{\rho=1} + \bar{v}_3. \quad (9)$$

Следовательно мощности сил трения равны

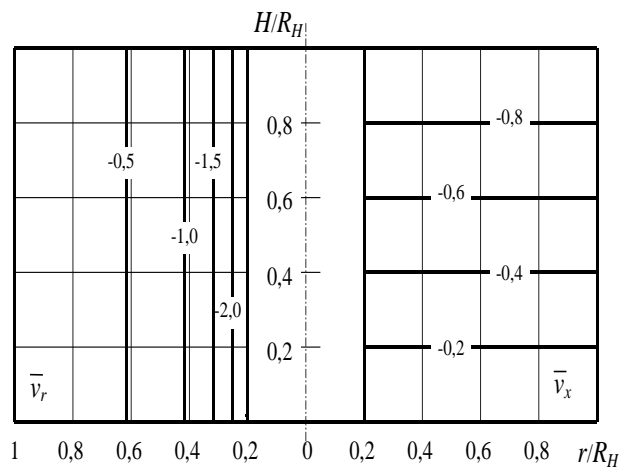
$$N_{TP1} = 2\pi\psi_1\tau_S v_1 R_H^2 \int_k^1 \bar{v}_r|_{z=1} \rho d\rho \quad (10)$$

$$N_{TP2} = 2\pi\psi_2\tau_S v_1 R_H^2 \int_k^1 \bar{v}_r|_{z=0} \rho d\rho \quad (11)$$

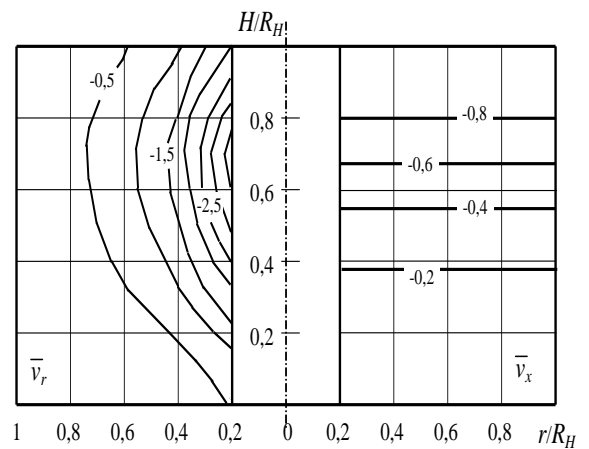
$$N_{TP3} = 2\pi\psi_3\tau_S v_1 R_H H \int_0^1 (\bar{v}_x|_{\rho=1} + \bar{v}_3) dz \quad (12)$$

Модификация разработанной математической модели также позволяет учесть возможность закручивания бойков 1 и 2, а также

контейнера прессы 3 (см. схему на рис.1) $v_\varphi \neq 0$.



a



б

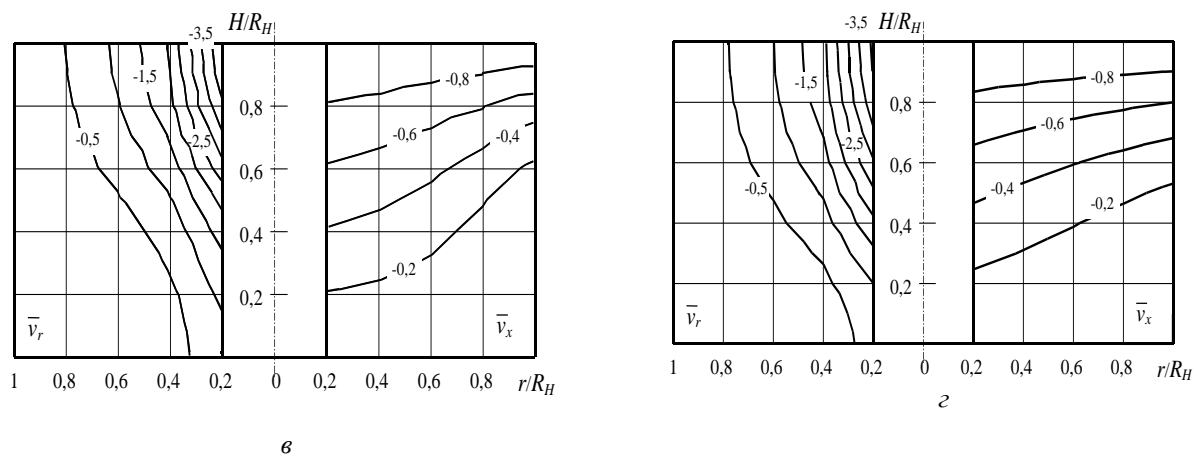


Рис.2. Распределение скоростей в вертикальном и радиальном направлении для $\bar{h} = 1$ и $k = 0,2$ ($\bar{v}_2 = 0$ и $\bar{v}_3 = 0$):

$a - \bar{v}_x$ определена по формуле (3');

$b - \bar{v}_x$ определена по формуле (3'') при $m = 0$;

$в - \bar{v}_x$ определена по формуле (3''') при $m = 1$;

$г - \bar{v}_x$ определена по формуле (3''') при $m = 2$

Определение варьируемых параметров \bar{a}_i

выполнено прямой минимизацией выражения (1) используя метод Нелдера-Мида при помощи специально разработанной программы:

$$N_{BH} + N_{TP} \rightarrow \min. \quad (13)$$

Результаты расчета, выполненные в представленной работе, приведены на рис.2 в виде полей относительных скоростей \bar{v}_x и \bar{v}_r . Эти скорости показаны на поперечном сечении заготовки (в виде линий равного уровня) для относительной высоты заготовки $\bar{h} = 1$ и параметра сечения полой заготовки $k = 0,2$ (нижний боек и контейнер неподвижные, т.е. $\bar{v}_2 = 0$ и $\bar{v}_3 = 0$). Значения показателей трения приняты равными $\psi_j = 0,7$.

Анализ результатов вычислительного эксперимента показывает, что использование функции \bar{v}_x вида (3''') в математической модели наиболее соответствует экспериментальным данным, полученным при осадке свинцовых заготовок с использованием метода координатных сеток.

Список литературы

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2001. 836 с.

2. Гун Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1983. 352 с.

3. Бабайлов Н.А., Буркин С.П., Разинкин А.В. Моделирование осадки полой заготовки в закрытом контейнере // Труды II Международной научно-практической конференции «Материалы и технологии XXI века». Сборник статей. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2004. С. 89-92.

4. Шилов С.В., Швейкин В.В., Логинов Ю.Н., Паршаков С.И. Анализ осадки полого цилиндра в контейнере. Известия вузов. Машиностроение, 1984, №3. С. 127-131.

5. Логинов Ю.Н., Буркин С.П., Щипанов А.А. Исследование деформированного состояния полого цилиндра при осадке в контейнере. Деп.рук.в ВИНТИ №7111-B88 от 23.09.88.

6. Логинов Ю.Н., Буркин С.П. Вариационное решение задачи осадки в контейнере полой заготовки из текстуруемого материала. Известия вузов. Цветная металлургия, 1998, №1. С.31-36.

7. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф. Влияние стадии распрессовки полого слитка из алюминиевого сплава на процесс последующего прессования. Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2007. № 7. С. 37-42.